

콘디벨트 건조공정 변수가 국산 골판고지로 제조한 라이너지의 물성에 미치는 영향

이 학 래[†] · 윤 혜 정 · 정 태 민 · 김 진 두*

Effects of the Process Variables of Condebelt Drying on Linerboard Properties Made from KOCC

Hak Lae Lee[†], Hye Jung Youn, Tae Min Jung, and Jin Doo Kim*

ABSTRACT

Effects of the process variables in Condebelt press drying including drying temperature, pressure, drying time, and moisture content of the sheets on the paper properties were examined. The experiment was performed with a static rig and Korean OCC was used as raw material.

Significant improvement in sheet density, compression strength, tensile strength, surface smoothness, etc. was obtained when Condebelt drying was applied. Control of pressure and inlet dryness was found to be two most critical variables in improving sheet properties.

1. 서 론

국산 골판지 원지는 국내에서 발생하는 골판지 고지를 주원료로 사용하는 고도의 환경친화적 원료활용체계를 가지고 있지만 이는 국산 골판지의 강도를 심각하게 저하시키는 근원적인 문제점으로 작용하고 있다.¹⁾ 이러한 문제점을 극복하기 위해서 현재 원료섬유를 기계적으로 처리하는 방법과 지료에 화학첨가제를 투입하는 방안의 두 가지 기술이 주로 활용되고 있다. 그러나, 리파이닝 등에 의한 원료의 기계적 처리 방법은 초지된 종이의 강도를 향상시키는 장점은 있으나 미세섬유를 다량 발생시킴으로써 탈수성을 저하시키고, 재활용시

섬유 손실을 증가시키며, 골판지 사용시 이들 미세섬유는 각질화되어 재회수 골판지 고지의 강도 특성과 화학첨가제의 적용효과를 저하시키는 등 여러 가지 문제점을 유발시키는 단점을 지니고 있다. 또 지력증강제 등의 화학적 처리를 통하여 강도증강을 모색하는 방안은 앞으로 환경문제에 대응하기 위한 공정폐쇄화가 진행되어 초지계 내에 단순 이온성 물질 혹은 음이온성 트래쉬의 농도가 증가할 경우 그 효과가 크게 저하되는 문제가 나타날 것이 분명하다. 따라서 공정 폐쇄화에 의해 발생하는 이러한 첨가제의 효능저하를 근원적으로 방지할 수 있는 새로운 첨가제의 개발과 공정 운영 기술의 확립이 뒤따르지 못한다면 화학첨가제 활용을 통한 강도향상 방안은 초지공정 폐쇄화를

* 서울대학교 임산공학과(Department of Forest Products, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea).

* 동일제지(Dong Il Paper Mfg. Co., Ltd., #492-1, Moknae-Dong, Ansan 425-100, Korea).

† 주저자(Corresponding author): e-mail: lhakl@plaza.snu.ac.kr

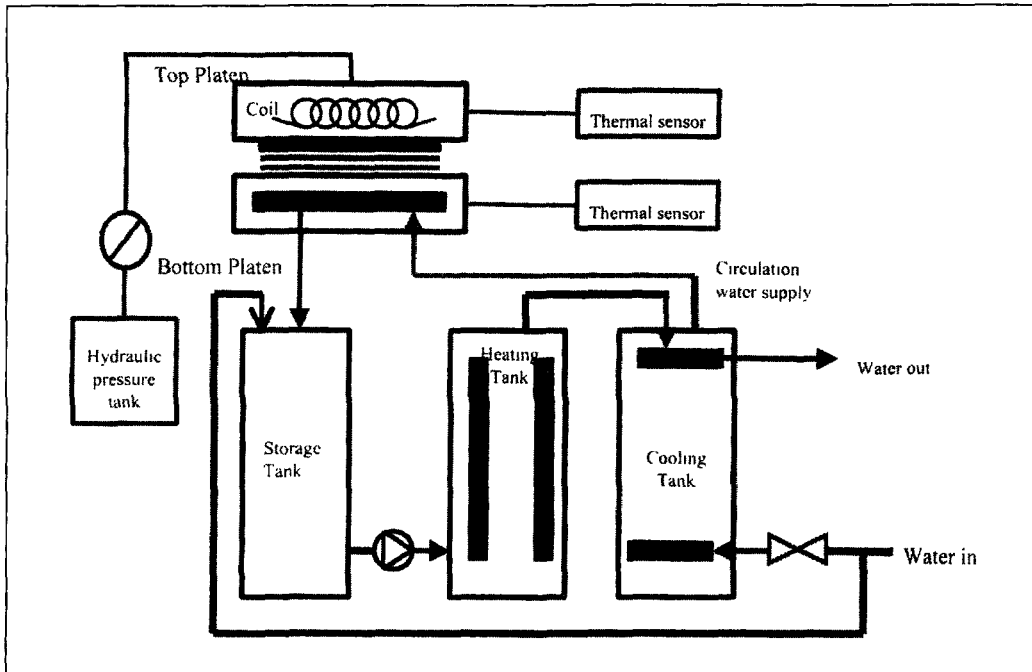


Fig. 1. Schematic diagram of the static Condebelt dryer.

통한 환경 보호와 상충되는 결과를 초래할 수도 있다는 점을 주의해야만 할 것이다.

그러므로 국산 골판지 고지를 원료로 사용하여 우수한 강도적 성질을 지닌 골판지 원지를 생산함과 동시에 수질오염에 의한 환경문제를 최소화하기 위해서는 원료 조성과정에서 섬유유 과다한 단섬유화를 방지해야만 할 것이며, 첨가제활용의 최적화 및 이를 위한 공정 적용기술 확립이 필수적이라 하겠다. 하지만 지료조성 공정에서 일반적으로 행해지고 있는 원료 섬유유 기계적 처리나 내부첨가제의 활용에 의존하지 않고 골판지 원지의 강도를 향상시킬 수 있다면 우리나라와 같이 재활용 자원에 대한 의존도가 높고, 공정폐쇄화를 추구해 나가야 하는 경우 가장 바람직한 기술 대안이 될 것이라 믿어진다.

본 연구에서는 국내 골판지 원지산업이 지니고 있는 강도 저하의 문제점을 해결하기 위한 새로운 대안으로서 고온압착 건조기술의 하나인 콘디벨트 건조(Condebelt drying) 기술을 활용하는 방안을 검토하고, 이의 최적화를 모색하였다. 이를 위해 먼저 국산 골판지 고지를 원료로 하여 종이를 제조하고, 실험실용 고온압착건조기를 이용하여

공정 변수에 따른 종이의 물성 변화를 평가하였다.

콘디벨트 건조기술의 요체는 압착과 건조의 두 공정을 하나로 조합함으로써 펄프 섬유유를 유리전이점보다 높은 온도하에서 압착, 건조하여 섬유간 결합을 증가시키고, 결과적으로 종이의 강도를 기존의 실린더 건조기술로 얻을 수 없는 수준까지 향상시킨다는 데 있다.^{2,3)} 콘디벨트 건조기술의 이러한 효과는 그 동안 수종의 천연펄프 및 유럽산 고지를 이용하여 실증된 바 있다.^{4,5)} 하지만 아직 국산 골판지 고지와 같이 반복적으로 재활용된 고지 원료에 대한 콘디벨트 건조의 효과는 연구된 바 없어 본 기술의 국산화를 위해서는 이에 대한 연구와 확인이 시급히 요청되고 있다. 다시 말하면 국산골판지 고지의 섬유유 특성은 버진펄프 섬유유 혹은 이와 유사한 고품질의 선진국 고지의 특성과 다를 것이 자명하므로 이들의 콘디벨트 건조 효과를 검토하는 것은 국내의 기술 상황을 고려할 때 매우 필요하다고 믿어진다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험용 고온압착건조 장치 구축

본 연구의 목표를 달성하기 위해서 Fig. 1에 도시한 바와 같은 실험용 고온압착건조 장치를 설계, 제작하였다. 여기에서 보는 바와 같이 실험용 고온압착건조 장치는 외형상으로는 일반 열압기와 같은 형태를 띠고 있으며, 고온부의 상부 플레이트와 저온부의 하부 플레이트로 이루어져 있다. 상부 플레이트는 내부의 가열 코일을 이용하여 300℃까지 가열할 수 있도록 하였으며, 하부 플레이트 내부에는 온도를 40~80℃의 범위에서 조절할 수 있도록 냉각수 순환장치를 설치하였다. 하부 플레이트의 온도 조절을 위해서 냉각수 저장조, 가열장치, 냉각장치 및 순환 펌프로 구성된 냉각 시스템을 구축하였다. 또 상부 플레이트의 개폐와 압체시간, 압체압력은 유압을 이용하여 자동조절할 수 있도록 하였다. 본 실험장치를 이용하여 상·하부 플레이트의 온도, 압력, 압착시간 등의 공정변수를 독립적으로 조절하여 이들 공정변수가 종이의 성질에 미치는 영향을 파악하였다.

2.2 재료 및 방법

본 연구에서는 국산 골판지 고지를 원료로 사용하였다. 본 연구에 사용된 골판지 고지 원료는 카파값이 58로 비교적 높은 리그닌 함량을 지니고 있었다. 골판지 고지는 비터로 20분 간 해리한 다음 10분 간 고해하여 여수도 350 mL CSF가 되도록 한 다음, 사각 수초지기를 이용하여 평량 150 g/m² 되도록 수초지하였다. 이어 프레스로 5분 간 압착하였다. 압착 후 습지의 건조도는 40%였다. 압착된 습지는 일반 실린더 드라이어 또는 고온압착건조 장치를 이용하여 건조하였다. 고온압착건조시 하부 플레이트의 온도는 80℃로 고정시켰으며, 상부 플레이트의 온도를 120, 140, 160, 180℃로 변화시켰다. 또한 압착압력은 3, 5, 7 bar로, 압착시간은 3초와 5초로 변화시켰다. 지필의 건조도 변화에 따른 종이의 물성을 평가하기 위해 실린더 건조기를 이용하여 지필의 건조도를 50%와 60%로 증가시킨 습지를 준비하여, 위와 같은 방법으로 고온압착건조하였

다. 이와 같이 제조된 종이의 물성을 측정하여 기존의 실린더 방식으로 건조한 종いと 비교하였다. 평가한 물성은 밀도, 인장강도, 파열강도, RCT, SCT, 투기도, 광택도였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 콘디벨트 공정의 주요 변수

콘디벨트 건조공정은 전형적인 실린더 건조방식에 비해서 섬유간 결합면적을 증가시키며, 건조시 발생하는 지필의 수축을 근원적으로 방지할 수 있는 공정이기 때문에 우수한 강도적 특성이 얻어진다고 알려져 있다.^{6,7)} 콘디벨트 건조에 의해 섬유간 결합면적이 증가되는 이유는 건조온도를 리그닌의 유리전이온도 이상으로 상승시킬 수 있기 때문이다.⁸⁾ 따라서 일반적으로 표백크라프트펄프보다는 상당량의 리그닌을 함유한 기계펄프나 미표백펄프를 원료로 이용할 경우 콘디벨트 건조의 강도 개선 효과가 더욱 우수하게 나타날 것으로 기대할 수 있다.

콘디벨트 건조의 강도향상 효과는 상·하부 플레이트의 온도, 압력, 압착시간, 유입지의 건조도 등 다양한 변수에 따라 변화된다.

3.2 상부 플레이트 온도의 영향

콘디벨트 공정을 통하여 건조된 종이의 밀도와 파열강도는 상부 플레이트의 온도에 따라서 크게 변화되지는 않았다. 그러나, 기존의 실린더 건조방식으로 제조된 종이에 비해 밀도는 25~35%, 파열강도는 5~30% 증가하였다. Retulainen 등도 콘디벨트 건조시 건조온도에 따라 밀도가 지속적으로 증가하지 않는다는 사실을 보고한 바 있다.⁹⁾

상부 플레이트 온도 변화에 따른 RCT 변화를 측정하기 위해 유입지의 건조도를 50%, 압체압력을 7 bar, 압체시간을 5초로 일정하게 유지한 상태에서 상부 플레이트의 온도만을 변화시켜 건조한 종이의 RCT 강도는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 상부 플레이트의 온도가 120~140℃ 사이에서 크게 증가하였으며, 그 이상의 온도 범위에서는 변화가 적었다. 압축강도와는 달리 인장강도는 온도가 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가하는 결

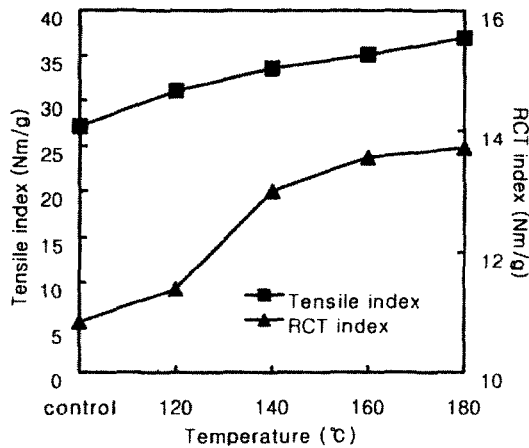


Fig. 2. Effect of hot platen temperature on the tensile index and the RCT index.

과를 보여 주었다. 인장강도용 시편 제조시에는 유입지의 건조도는 60%, 압체압력은 7 bar, 압착시간은 3초로 일정하게 유지하였다.

투기저항성과 광택도의 경우에는 상부 플레이트의 온도효과가 뚜렷하게 나타났다. Fig. 3은 유입지의 건조도를 50%, 압체압력을 7 bar, 압체시간은 투기도 측정용 시편의 경우 3초, 광택도 측정용 시편의 경우 5초로 일정하게 유지한 상태에서 상부 플레이트의 온도를 변화시켜 건조한 종이의 Gurley 투기저항성과 광택도를 나타낸 것이다. 여기에서 보는 것과 같이 온도가 증가함에 따라 이들 물성은 감소하였지만 실린더 건조된 종이에 비해서는 대부분 우수한 투기저항성과 광택도를 나타내었다.

콘디벨트 공정에서 하부 플레이트의 온도를 고정시킨 채 상부 플레이트의 온도를 증가시키면 지필 내 급격한 온도 경사가 발생되며 그로 인해 표층에 존재하는 수분이 순간적으로 제거되기 때문에 온도가 높을수록 표층에 위치한 섬유는 건조도가 높은 상태에서 압착 건조된다. 건조도가 높은 경우에는 리그닌과 셀룰로오스의 유리전이온도가 상승되므로 고온압착건조에 의한 섬유 변형효과가 충분히 나타나지 못하며, 이에 따라 광택도와 투기저항성이 저하된 것으로 해석된다. 이 밖에도 고온에서는 상부 금속 플레이트에 표층 섬유가 부착되어 뜸김현상이 발생된 것도 광택도와 투기저항성을 저하시킨 원인으로 작용하였다고 판단된다. 따라서 표면특성의 개선을 위해서는 건조과정

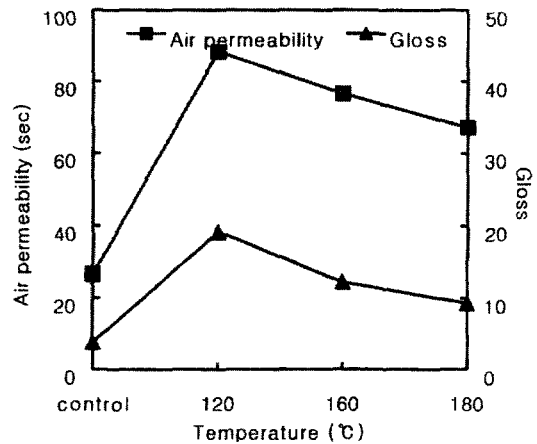


Fig. 3. Effect of hot platen temperature on the air permeability and gloss.

중 표층에 수분이 존재할 수 있도록 조절하는 것이 필요하다고 판단되었다.

3.3 압력의 영향

고온압착건조의 압력에 따른 밀도(Fig. 4), 압축강도(Fig. 5) 및 파열강도 변화는 압력이 낮은 경우에 크게 발생하였으며, 압력이 높아지면 완만하게 증가되는 경향을 나타내었다. 이는 고온압착 건조에 의한 물성 향상은 밀도에 비례함을 시사하는 것이다.

일정한 온도 경사하에서 압체에 의한 지층의 고밀화는 종이 전체에 걸쳐 발생되기보다는 표층에 집중적으로 발생하였다. 이는 일반 프레스로 압착한 평량 80 g/m²의 종이 3장을 합치하여 고온압착건조 장치에서 건조시킨 후 단면을 관찰한 결과, 표층의 종이 두께는 가운데 층과 이면층의 종이 두께보다 10 μm 정도 더 얇고, 치밀한 구조를 보여 주었다는 사실에서도 확인할 수 있었다. 이러한 표층의 고밀화는 표층의 수분과 온도 조건이 적절할 때 더욱 크게 나타났다. SCT 지수는 저압 범위에서 크게 증가하였으나 고압 범위에서는 거의 일정한 수준으로 유지되었다(Fig. 5). 특히 상부 플레이트의 온도가 높을수록 고압에서의 SCT 증가 효과는 감소되었다. 반면에 상부 플레이트의 온도가 리그닌 연화점 부근인 120°C 정도로 낮은 경우에는 압력이 증가함에 따라 지속적인

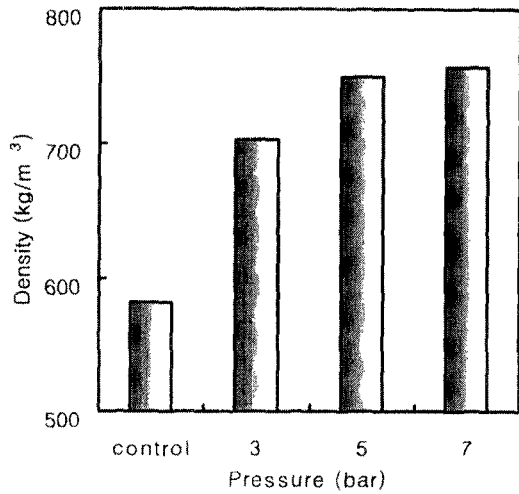


Fig. 4. Effect of pressure on the density (Inlet dryness; 50%, Hot platen temperature; 160 °C, Pressing time; 3 sec).

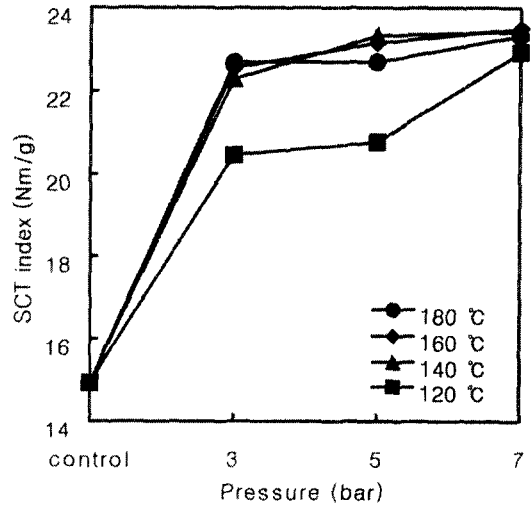


Fig. 5. Effect of pressure on the SCT index (Inlet dryness; 50%, Hot platen temperature; 120 °C, Pressing time; 5 sec).

로 강도가 증가되었다.

인장강도와 파열강도도 압착 압력이 증가함에 따라 증가되었다. 이는 압력증가에 따른 섬유간 결합 및 밀도 증가 때문으로 해석된다.

투기저항성과 광택도 역시 앞에서 열거한 강도적 특성과 같이 압력이 높아질수록 증가하였다 (Fig. 6).

3.4 압체시간의 영향

본 실험에서는 압체시간을 3초와 5초로 변화시키고 이에 따른 물성변화를 평가하였으나, 이는 물성에 유의한 영향을 끼치지 않는 것으로 밝혀졌다. 이는 본 연구에 적용된 압체 조건이 습지필을 충분히 높은 건조도까지 건조하였기 때문으로 해석된다. 좀더 구체적으로 말하면 본 실험에서 사용된 가장 온화한 압착건조 조건인 120 °C, 3 bar에서 3초 간의 압착시간을 적용한 경우 출구에서의 지필의 건조도는 80-85%이었으며, 그 외의 조건에서는 더욱 높은 건조도를 나타내었다. 이는 출구 건조율이 82% 이상인 경우에는 출구 건조율의 증가에 따른 종이 물성의 증가는 더 이상 나타나지 않는다는 보고와 일치하는 것이다.⁹⁾

하지만 실제 고속 초지기상에서 콘디벨트를 사용할 경우에는 압체시간의 감소가 필연적으로 발생하

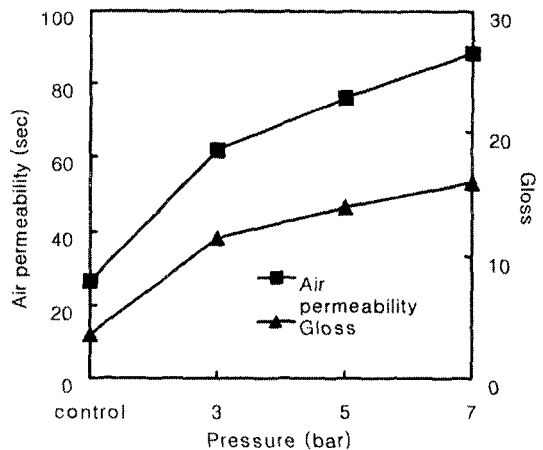


Fig. 6. Effect of pressure on the air permeability and gloss (air permeability), 40% (gloss), Hot platen temperature; 120 °C, Pressing time; 3 sec).

게 된다. 이러한 경우에는 출구 지필의 건조도가 과도하게 낮아져 압착건조의 효과가 충분히 나타나지 못하거나, 스틸벨트로부터 지필의 분리가 불량해지는 등의 문제점이 나타날 것으로 예상된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 실린더 건조설비를 건조부 초반부에 활용할 필요도 있다고 판단된다.

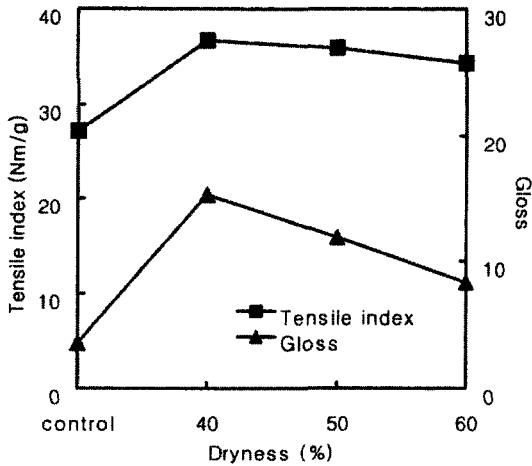


Fig. 7. Effect of inlet dryness on the tensile index and gloss (Hot platen temperature; 180 °C (tensile index), 160 °C (gloss), Pressure; 5 bar, Pressing time; 3 sec).

3.5 유입지 건조도의 영향

유입지 건조도에 따라 콘디벨트 건조된 종이의 밀도는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났으나, 인장강도와 압축강도는 유입지필의 건조도가 높아질 경우 약간 감소하는 경향을 보였다(Fig. 7). 또 광택도는 지필의 건조도가 높아짐에 따라 상당히 감소하였다. 이는 지필의 건조도가 높은 경우에는 고온압착건조시 섬유유연화가 적게 발생되었기 때문이라 생각된다.¹⁰⁾

그러나 입구지필의 건조도와 온도는 물성뿐 아니라 건조속도, 스티키에 의한 공정오염과 직결되어 있으므로 다각적인 측면을 고려하여 설정할 필요가 있다고 판단된다. 특히 고속운전을 목표로 한다면 실린더 드라이어를 적절히 병용하는 것도 바람직할 것이라 생각된다. 예를 들어, 유입지의 온도가 과도하게 낮아 스티벨트와의 온도차가 커질 경우에는 스티키에 의한 스티벨트의 오염이 발생하여 조업성에 악영향을 끼칠 것으로 예상되므로 실제 조업시에는 콘디벨트 건조기로 유입되는 유입지의 건조도를 적절히 올릴 필요가 있는 것으로 생각된다.

3.6 콘디벨트 건조에 의한 물성개선 효과

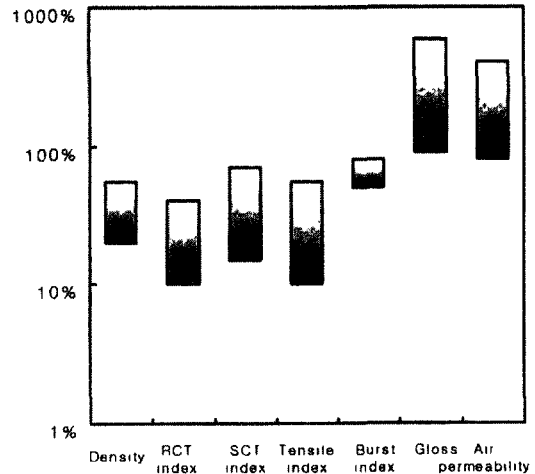


Fig. 8. The increase of paper properties by Condebelt drying compared to cylinder drying.

콘디벨트 건조 방식으로 제조된 종이는 실린더 건조 방식으로 제조된 종이보다 밀도의 경우 20-35%, RCT는 10-30%, SCT는 15-55%, 인장강도는 10-45%, 파열강도는 5-30% 상승하였으며 광택도는 90-500%, 투기저항성은 80-330% 증가 효과가 있는 것으로 밝혀졌다(Fig. 8).

4. 결론

본 연구에서는 국내 골판지 원지산업이 지니고 있는 강도 저하의 문제점을 해결하기 위한 새로운 대안으로서 고온압착건조 기술의 하나인 콘디벨트 건조기술을 활용하는 방안을 검토하고, 이의 최적화를 모색하였다. 이를 위해 먼저 국산 골판지 고지를 원료로 하여 종이를 제조하고, 실험용 고온압착건조기를 이용하여 공정 변수에 따른 종이의 물성변화를 측정하였다.

그 결과 압체 압력과 유입지필의 건조도가 물성에 가장 크게 영향하는 것으로 나타났으며, 상부 플레이트의 온도와 건조시간은 본 연구에서 조사된 범위 내에서는 물성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 건조 속도와 에너지 관리 측면에서 고려할 경우 온도경사가 크고, 유입지의 온도가 높은 조건이 유리할 것으로 판단된다.

본 연구로부터 국산 골판고지를 원료로 사용할 경우 하부 플레이트의 온도를 80℃로 고정시켰을 때 상부 플레이트의 온도를 160℃, 압력 압력은 5 bar, 압체시간은 3초로 유지하는 것이 최적의 공정 조건이라 판단되었다. 이러한 조건은 실제 스팀챔버의 압력과 온도를 고려할 때 충분히 조절될 수 있는 조건이므로 실제 생산에 용이하게 적용할 수 있을 것이라 믿어진다.

앞으로는 콘디벨트의 조업성과 직결된 스티키의 처리, 에너지관리, 기존 실린더 건조기의 예열 설비로의 활용방안 등 실질적인 생산기술에 대한 연구도 요청된다. 이와 함께 국산 고지펄프의 압착 건조에 의한 섬유간 결합양상을 구명하는 연구가 시도되어야 할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

1. 신동소, 고지리사이클링, 서울대학교 출판부, pp. 199-202 (1995).
2. Gunderson, D. E., Paperi Ja Puu, 74(5):412 (1992).
3. Kunnas, L., Lehtinen, J., Paulapuro, H. and Krviranta, A., Tappi J. 76(4):95 (1993).
4. Lehtinen, J., Drying Technology, 8:2049 (1995).
5. Unkila, K., Lehtinen, J. and Juntunen, T., 1991 Proceedings of the Helsinki Symp. on Alternate Methods of Pulpsand Paper Drying, The Finnish Paper Engineers Association, Finnish Pulp and paper Research Institute and Pira, Finland, pp. 237-278.
6. Horn, R. A., Tappi 62(7):77 (1979).
7. Byrd, V. L., Tappi 62(7):81 (1979).
8. Back, E. L., Tappi J. 68(3):9 (1985).
9. Retulainen, E., Mersalo, N., Lehtinen, J. and Paulapuro, H., Pulp & Paper Canada, 99(1):T20 (1998).
10. Htun, M., The Control of Mechanical Properties by Drying Restraints, in "Paper Structure and Properties," Ed. Bristow, J. A. and Kolseth, P., Marcel & Decker, pp. 311-326 (1989).